

Научная статья
УДК 630.52:587/588

КОНЦЕПЦИЯ ЭЛЕКТРОННОГО УСТРОЙСТВА ИЗМЕРЕНИЯ ВЛАЖНОСТИ РАСТУЩЕГО ДЕРЕВА

Кирилл Сергеевич Берсенов¹, Сергей Петрович Санников²

^{1, 2} Уральский государственный лесотехнический университет,
Екатеринбург, Россия

¹ 1kir2ber2004@gmail.com

² sannikovsp@m.usfeu.ru

Аннотация. В работе проведены исследования проблем измерения дендрологических параметров растущего дерева для мониторинга состояния древостоев в лесной среде. Сделан анализ существующих источников информации некоторых авторов, исследующих влажность древесины дерева. Разработана концептуальная структурная схема устройства для постоянного мониторинга влажности дерева в лесу.

Ключевые слова: влажность, дерево, мониторинг, устройство

Для цитирования: Берсенов К. С., Санников С. П. Концепция электронного устройства измерения влажности растущего дерева // Научное творчество молодежи – лесному комплексу России = Scientific creativity of youth to the forest complex of Russia : материалы XXII Всероссийской (национальной) научно-технической конференции студентов и аспирантов. Екатеринбург : УГЛТУ, 2026. С. 584–588.

Original article

THE CONCEPT OF AN ELECTRONIC DEVICE FOR MEASURING THE GROWING TREE MOISTURE CONTENT

Kirill S. Bersenev¹, Sergey P. Sannikov²

^{1, 2} Ural State Forest Engineering University, Ekaterinburg, Russia

¹ 1kir2ber2004@gmail.com

² sannikovsp@m.usfeu.ru

Abstract. The paper investigates the problems of measuring the dendrological parameters of a growing tree for monitoring the condition of forest stands in the forest environment. The analysis of the existing sources of information of some authors of the researched wood moisture of the tree is provided.

A conceptual structural diagram of a device for continuous monitoring of tree moisture in the forest has been developed.

Keywords: moisture, tree, monitoring, device

For citation: Bersenev K. S., Sannikov S. P. (2026) *Koncepciya e`lektron-nogo ustrojstva izmereniya vlazhnosti rastushhego dereva* [The concept of an electronic device for measuring the growing tree moisture content]. *Nauchnoe tvorchestvo molodezhi – lesnomu kompleksu Rossii* [Scientific creativity of youth to the forest complex of Russia] : materials of the XXII All-Russian (national) Scientific and Technical Conference of undergraduate and postgraduate students. Ekaterinburg : USFEU, 2026. P. 584–588. (In Russ).

Влажность растущего дерева в лесу характеризует его состояние обмена веществами, рост дерева, процессы фотосинтеза. Влагу дерево берет из почвы через корни и частично из воздуха. Определенным образом сказывается изменение влажности воздуха от времени года и суток, а также продолжительность.

В работе проведены исследования и анализ методов и способов измерения влажности в стволе, ветках дерева, а также внутри и на поверхности (в коре) послойно от центра до коры. На основании полученной информации разработана концепция измерительного устройства для измерения влажности внутри ствола растущего дерева.

Целью настоящей работы является разработка измерительного устройства влажности растущего дерева на основе проведенного анализа опубликованных данных.

Для выполнения указанной цели поставлены следующие *задачи*:

- 1) сделать анализ существующих методов и средств измерения влажности в древесине растущего дерева;
- 2) разработать структурную схему.

Контроль физических параметров древесины дерева является критически важной задачей при мониторинге древостоев в течение созревания. Среди этих параметров влажность древесины является важной составной частью, которая играет ключевую роль в научном исследовании у специалистов лесного хозяйства.

Влажность напрямую влияет на внутреннее электрическое напряжение в стволе [1]. За последние сто лет физику древесины исследовали многие ученые. Выяснено, что удельное электрическое сопротивление древесины зависит от влажности [2]. Авторы Д. С. Чеснова, А. А. Побединский исследовали биоэлектрическую зависимость сосны кедровой сибирской от размера диаметра и времени года [3].

Проведены исследования основных известных методов и способов измерения влажности древесины по следующим параметрам (физические основы).

1. Принципы работы (физические основы).

Для оценки уровня влажности древесины *без прямого контакта или с минимальным контактом* в естественных условиях могут быть использованы следующие методы:

а) кондуктометрический (резистивный) метод, суть которого заключается в измерении изменения величины электрического сопротивления древесины. Вода в клетках древесины является проводником электрического тока. Сопротивление между двумя электродами, введенными в ствол, имеет обратную зависимость от влажности;

б) диэлькометрический (емкостной) метод основан на определении диэлектрической проницаемости древесины по измерению емкости электрического конденсатора. Диэлектрическая проницаемость воды (около 80) значительно превосходит аналогичный показатель сухой древесины (в пределах 2...5), поэтому влажность древесины влияет на ее общую диэлектрическую проницаемость и, соответственно, на электрическую емкость;

в) микроволновый метод. Измерение степени ослабления или фазового сдвига микроволнового излучения, проходящего через древесину. Вода хорошо поглощает излучение микроволнового диапазона.

2. Принцип действия (метод измерения).

Для использования в сложных лесных условиях с учетом долговечности и надежности наиболее подходящим является кондуктометрический (резистивный) метод, обеспечивающий оптимальный баланс точности и устойчивости. Сущность метода заключается в измерении электрического сопротивления древесины обратно пропорционально содержанию влаги в ней. Сухая древесина – отличный изолятор, а увеличение влажности (за счет электролита – воды) повышает ее электропроводность.

В основе принципа работы измерительного устройства лежат следующие условия:

1) в ствол дерева вкручиваются или вбиваются два или более электродов из нержавеющей стали (специализированного сплава, например, из платины);

2) генератор устройства подает на эти электроды переменное напряжение стабильной частоты (например, 1...10 кГц). Использование переменного тока критически важно для предотвращения поляризации и электролиза на электродах, что может привести к их быстрому разрушению и искажению результатов;

3) измерительная схема реагирует на изменение силы тока, проходящего между электродами через древесину, или падение напряжения на эталонном резисторе;

4) микроконтроллер преобразует этот сигнал в цифровой вид и, используя калибровочную зависимость (сохраненную в памяти), переводит значение сопротивления в процент влажности по массе (W%);

5) результаты отображаются на экране (при наличии) и/или передаются по беспроводной связи.

3. Альтернативные принципы действия, которые менее подходят для решения поставленной задачи:

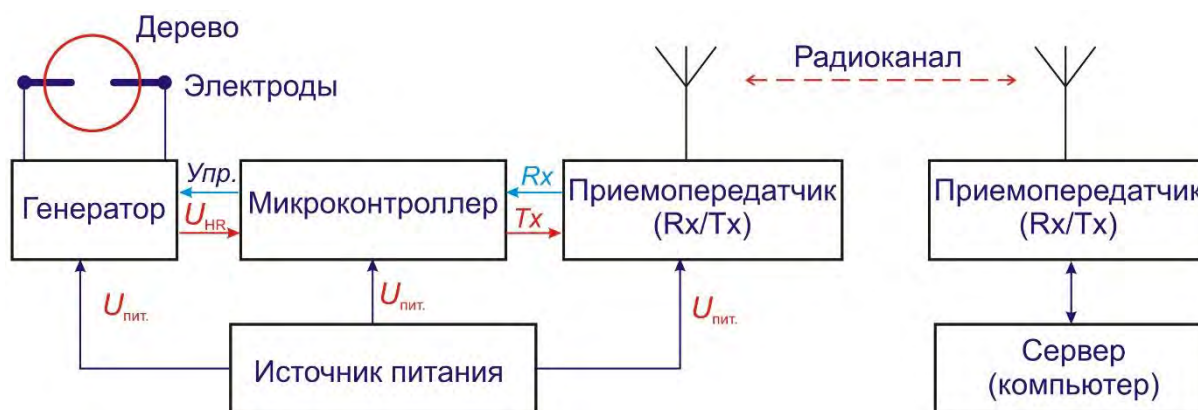
– **диэлькометрический (емкостной)**: требует сложной электроники, чувствителен к породе дерева, плотности, наличию зазоров, потребляет больше энергии;

– **оптический/инфракрасный**: требует чистой поверхности. Воспринимающий элемент датчика чувствителен к загрязнениям и пыли, не подходит для длительного мониторинга;

– **СВЧ-метод**: сложное и дорогое оборудование, высокое энергопотребление.

4. Разработка структурной схемы измерительного устройства.

Разработанное устройство измерения влажности растущего дерева представлено на рисунке. Устройство состоит из электродов, внедренных в дерево, из нержавеющей или нейтрального металла, например, техническая платина.



Структурная схема датчика измерения влажности дерева

Устройство состоит из:

– **датчика**: емкостные пластины или резистивные иглы;

– **микроконтроллера**: «Мозг» устройства (например, ESP32, STM32 или ATmega). Обработывает сигналы с датчика, вычисляет влажность и управляет энергопотреблением;

– **модуля связи**: для передачи данных на шлюз или в облако. Оптимальные технологии передачи данных:

• **LoRaWAN**: идеален для лесных условий благодаря большому радиусу действия (10...15 км) и низкому энергопотреблению;

• **NB-IoT**: альтернатива в зонах покрытия сотовых сетей.

– **источника питания**: солнечная панель с литий-ионным аккумулятором и схемой управления питанием для обеспечения автономной работы;

– **корпуса**: герметичный и ударопрочный, защищает электронику от влаги, пыли, насекомых и животных.

Программное обеспечение и визуализация данных:

– **прошивка микроконтроллера** – реализует алгоритмы измерений, калибровки, энергосбережения (переход в спящий режим между измерениями) и передачи данных;

– **облачная платформа/сервер** – получает данные со множества устройств и хранит их в базе данных;

– **веб-интерфейс/мобильное приложение** – предоставляет пользователю возможность просматривать графики влажности по отдельным деревьям или группам в режиме реального времени, а также задавать пороговые значения (например, отправку СМС при снижении влажности ниже 30 %).

В **заключении** данной работы следует отметить, что предлагаемая схема устройства измерения влажности дерева основана на методе внедрения электродной системы в тело ствола дерева на высоте 1,5 м от поверхности земли.

Предлагаемая концепция электронного дендрогигрометра открывает новые горизонты для точного измерения влажности древесины растущего дерева в течение всего года. Переход от единичных замеров к непрерывному мониторингу позволит по-новому взглянуть на динамику экосистем и физиологию растений.

Список источников

1. Побединский А. А., Чеснова Д. С. Влияние влажности на внутреннее напряжение в стволе сосны сибирской // Научное творчество молодежи – лесному комплексу России : материалы XIX Всероссийской (национальной) научно-технической конференции студентов и аспирантов. Екатеринбург, 2023. С. 260–262.

2. Глебов И. Т. Физика древесины. Екатеринбург : УГЛТУ, 2018. 80 с.

3. Чеснова Д. С., Побединский А. А. Зависимость биоэлектрических показателей сосны кедровой сибирской от размера диаметра // Агропродовольственная политика России. 2023. С. 16–22.